



Keijo Saarenpää

HYBRIDILÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄ

HYBRIDILÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄ

Keijo Saarenpää
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Keijo Saarenpää

Opinnäytetyön nimi: Hybridilämmöntuottojärjestelmä

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 36+8 liitettä

Tämä opinnäytetyöni liittyy läheisesti työn tilaajan, Oulun kaupungin rakennusvalvonnan RESCA-projektiin Suurten kaupunkien uusiutuvat energialähteet ja pilotit. Oulun pilotissa kehitetään apuvälineitä, valintamalleja pientalojen erilaisille energialähteratkaisuille ja niiden hyvin toimiville yhdistelmille, hybrideille sekä niihin soveltuville rakennuksen energiatehokkuusratkaisuille. Ratkaisujen tulee olla ympäristöystävällisiä, luontoa säästäviä. Energiatehokkuuden kertoo E-luku.

Opinnäytteen tuotteita ovat eri lämmöntuottojärjestelmistä taulukkomuotoon laaditut ostoenergian ja E-luvun laskelmat sekä osasta niistä piirretyt toimintakaaviot ja toimintaselostukset. E-luku kuvaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta, energiatehokkuutta. Mitä kauempana ollaan E-luvun vertailuarvosta negatiiviseen suuntaan, sitä energiatehokkaampi on rakennus. Positiiviseen suuntaan mentäessä energiatehottomuus lisääntyy.

Työ toteutettiin pääosin erään pienrakentajan rakennushankkeen etenemisen yhteydessä. Kyseessä oli suurehko viiden perheenjäsenen käyttöön rakennettu omakotitalo, jossa oli myös pihalle alueelle rakennettu uima-allas. Hybridilämmöntuottojärjestelmän pääosat olivat lämpöpumppu, vesitakka, aurinkokerääjät, energiavaraajat ja sähkövastukset. Kaikki vaihtoehtoiset lämmöntuototavat laskettiin sovitettuna tähän omakotitaloon. Työssä mitoitettiin myös hybridilämmöntuottojärjestelmäksi maalämpöpumppu/aurinkokeräinhybridi.

Lämmöntuottojärjestelmillä kalliolämpö/aurinkokerääjä-hybri ja pellettilämmitys sekä maalämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridi päästiin vertailu E-luvun alapuolelle. Paras energiatehokkuus saavutettiin maalämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridillä. Työn tuloksena on syntynyt laskelmia ja piirustuksia sekä E-lukulaskelmia pienrakentajan ja hänen sidosryhmiensä käyttöön. Työn seurauksena käsitys saasteettoman ja ilmaisen aurinkolämmön hyödyntämiseksi ja aurinkolämpöä hyödyntävän tekniikan kehittämiseksi on vahvistunut.

Asiasanat: hybridilämmöntuottojärjestelmä, ostoenergia, E-luku, aurinkokeräin, lämpöpumppu, maalaji

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services, Option of HVAC Engineering

Author(s): Keijo Saarenpää

Title of thesis: Hybrid heatproducing system

Supervisor(s): Mikko Niskala

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013 Number of pages: 36+8 appendices

This thesis of mine is closely related to RESCA-project of building control department of Oulu city Sources of renewable energy and pilots of big cities . In pilot project of Oulu they are developing instruments, choosing models for different solutions of energy source of small buildings and for their well working combinations, hybrids and solutions of energy efficiency, which are suitable for hybrids. The solutions must be pro-environmental as well as nature saving. E-number shows a energy efficiency to us.

The products of thesis are calculations of purchase energy and E-number, which have been made in table form from different heatproducing systems as well as action reports and action schemes, which have been drawn in part of them. Choosing a heatproducing system has decisive effect on E-number because of different coefficients of energy forms. E-number represents total energy consumption, energy efficiency of a building. The further we are from comparison value of E-number to the negative direction, the energy efficient is a building. When we go to the positive direction unenergy efficiency is increasing. Work is theoretical examination of heatproducing systems, modelling and comparing of them with each others.

As a result of this thesis calculations and drawings as well as calculations of E-number have arisen into use of a builder small building and his team. In consequence of this work also my own understanding to make good use of unpolluted and cheap solar heat as well as to develop modern technology, which exploits solar heat has considerably become stronger.

Keywords: purchase energy, E-number, solar collector, heat pump, soil, hybrid heatproducing system

SISÄLLYS	
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 OMAVARAISENERGIA	8
2.1 ET-luku, uusiutuva omavaraisenergia ja hybridilämmitys	8
2.2 Aurinkokerääjä	9
2.2.1 Tasokerääjästä saatava lämpöteho	9
2.2.2 Aurinkokerääjän hyötysuhde	11
2.3 Maa lämmönlähteenä ja lämpövarastona	12
2.3.1 Maalajit	12
2.3.2 Maan ominaislämpökapasiteetti	13
3 TALO ILLIKAINEN	16
3.1 Kohteen kuvaus	16
3.2 Talo Illikaisen teoreettinen energiankulutus	16
3.3 Talo Illikaisen teoreettinen uusiutuvan omavaraisenergian määrä	18
4 LÄMMITYSMUODON VAIKUTUS TALO ILLIKAISEN E-LUKUUN	20
4.1 Suora sähkölämmitys	20
4.2 Kalliolämpöpumppu ja varaaja	21
4.3 Kalliolämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridi	22
4.4 Kaukolämpö	23
4.5 Pellettilämmitys	24
5 TALO ILLIKAISEN ENERGIA TEHOKKAIN LÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄ	26
5.1 Maalämpöpumppu	26
5.2 Tasaurinkokerääjät	27
5.3 Lämpöakku	27
5.4 Keräys- ja latausputkisto	27
5.5 Pumput	28
5.6 Maalämpöpumpun, aurinkokerääjien ja lämpöakun toiminta	29
5.6.1 Lämpötila-anturi TE1	29

5.6.2 Lämpötila-anturi TE5 ja TE12	29
5.6.3 Pumppu P1	29
5.6.4 Maalämpöpumpun, aurinkokerääjien ja lämpöakun tuotto	31
6 YHTEENVETO	34
LÄHDELUETTELO	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää apuvälineitä ja valintamalleja pientalojen erilaisille energialähde- ja lämmöntuottojärjestelmäratkaisuille. Ne ovat laskelmia ja toimintakaavioita, joiden perusteella pientalon rakentaja voi alustavasti vertailla ja pohtia hänen rakennukseensa ja rahavaroihinsa sopivia mielekkäitä ratkaisuja. Tulokset ovat helposti vertailtavia lukuarvoja, kokonaisenergiatarkastelun pohjalta yhdelle ja samalle rakennukselle eri lämmöntuottojärjestelmillä sekä energialähteillä laskettuja E-lukuja. Näitä lukuja vertailemalla voi arvioida eri ratkaisuja. Monipuolinen kokonaisenergiatarkastelu vaatii suunnittelijalta hyvää ammattitaitoa, eri lämmöntuottojärjestelmien tuntemusta, uusiutuvan omavaraisenergian määrän laskennan osaamista ja erityisesti kokonaisuuksien hallintaa.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää eri lämmöntuottojärjestelmien ja niiden yhdistelmien, hybridien vaikutus rakennuksen ostoenergian kulutukseen. Eri vaihtoehtoja on tarkasteltu teoreettisin E-lukulaskelmin. Toteutetun hybridilämmöntuottojärjestelmän käytännön toimivuutta ei päästy testaamaan rakentamisessa tapahtuneiden viivytysten vuoksi. Eri lämmöntuottomuodoista ja niiden yhdistelmistä on selvitetty ostoenergiat ja niiden perusteella on laskettu energiamuotojen ker-toimilla painotetut E-luvut (2). E-lukujen perusteella on sitten vertailtu eri lämmöntuottomuotojen sopivuutta ja paremmuutta tämänkokoisen, suurehkon pientalon lämmitysenergian hankkimiseksi.

2 OMAVARAISENERGIA

2.1 ET-luku, uusiutuva omavaraisenergia ja hybridilämmitys

Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet D3 2012, uusiin asetukset, tuli voimaan 1 päivänä heinäkuuta 2012. Lisäksi lämmötuottojärjestelmän ja energiamuodon valintaan vaikuttavat Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä, sekä EU:n tavoite lisätä uusiutuvan energian osuus 20 prosenttiin loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Suomelle asetettu tavoite on 38 %. Energiatehokkuuden vaatimukset ohjaavat kuluttajaa siihen suuntaan, että nämä tavoitteet saavutetaan. Nykyisten vaatimusten mukaan rakennuksen ostoenergiankulutus on laskettava. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat: sähkö 1,7, kaukolämpö 0,7, kaukojäähdytys 0,4, fossiiliset polttoaineet 1,0 ja uusiutuvat polttoaineet 0,5. Energiamuotojen kertoimia käytetään ainoastaan ostoenergialle. On tärkeää selvittää, mikä on rakennuksen vuotuinen ostoenergian määrä ja millä energiamuodoilla se on hankittu.

Rakentamismääräyksissä esiintyy uusi termi uusiutuva omavaraisenergia (1). Se on auringon suorasta säteilyenergiasta aurinkokeräajillä tai aurinkopaneeleilla muunnettua energiaa lämpöpumpulla (tai pumpulla ja putkistolla) maasta, kalliosta, ilmasta tai vesistöstä otettua energiaa sekä paikallista tuuli- ja vesivoimaenergiaa. Se ei ole ostoenergiaa, ja sen määrällä voidaan suoraan vähentää ostoenergian kulutusta. Sitä hankitaan yleensä kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla. Uusiutuvalla omavaraisenergialla on huomattava vaikutus vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa. Sitä riittävästi hankkimalla päädytään periaatteessa milloin vain pienempään kuin vaadittavaan E-lukuun. Ilman uusiutuvaa omavaraisenergiaa on mahdotonta Suomen olosuhteissa tavoitella 0-energia- tai +-energiarakennusratkaisua.

Hybridilämmitys sisältää vähintään kaksi tai useampia lämmötuottojärjestelmiä. Yleensä siinä on yksi päälämmötuottojärjestelmä ja yksi lisälämmötuottojärjestelmä.

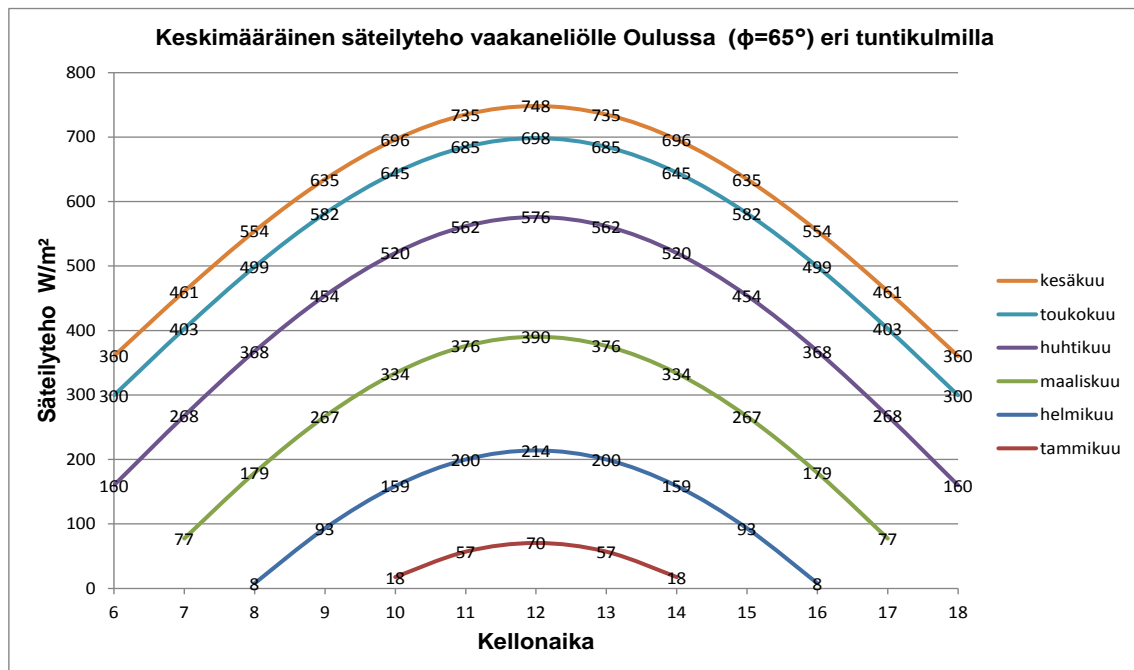
2.2 Aurinkokerääjä

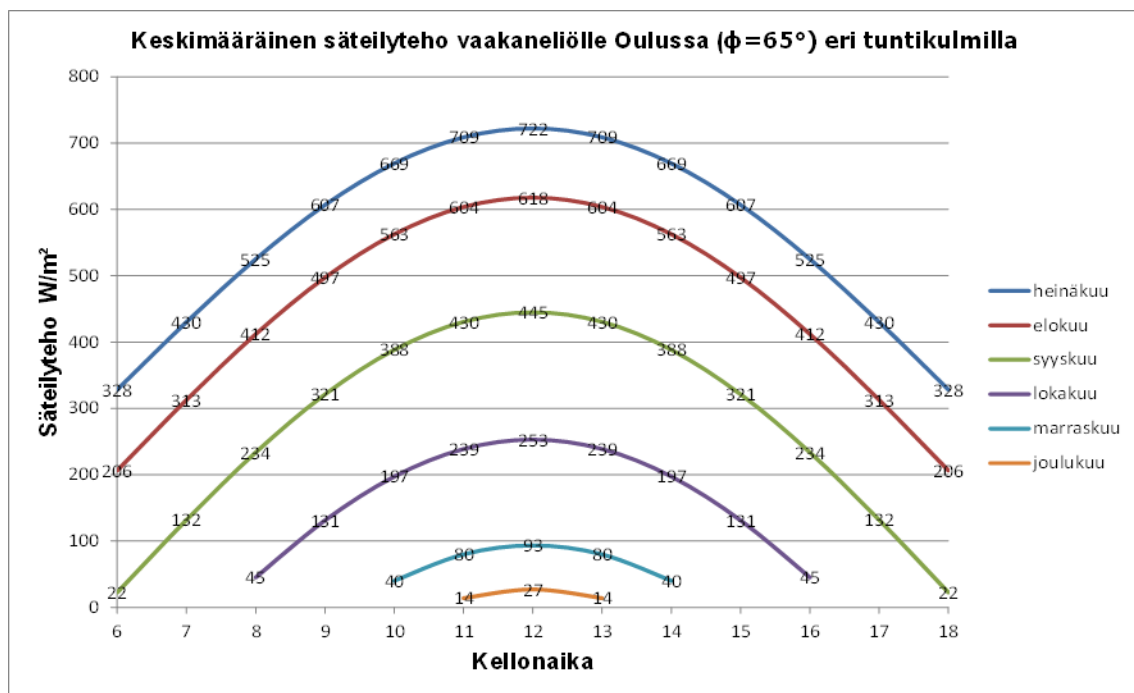
Aurinkokerääjillä hyödynnetään puhdasta ja saasteetonta auringon säteilyenergiaa. Suomen leveysasteilla (60–70°) auringon bruttoteho vaakaneliölle kesäaikaan on 700–900 wattia [W]. Bruttotehosta saadaan erilaisilla aurinkokerääjillä hyödynnettyä 40–80 %, jolloin nettotehoksi jää 300–700 W/m². Yleisimmät kerääjätyypit ovat tasokerääjä ja tyhjiöputkikerääjä.

Tasokerääjä on yleisin ja tyhjiöputkikerääjien markkinaosuus on noin 10 % Euroopan keräinmarkkinoista. Tasokerääjä on yksinkertainen ja toimintavarma. Tyhjiöputkikerääjässä on monipuolisempaa ja haavoittuvampaa tekniikkaa. Neliöhinta on kaksinkertainen tasokerääjiin verrattuna. Hyötysuhde ei kuitenkaan ole lähimainkaan kaksinkertainen. Päinvastoin, LVI-tekniikan normaalilla, lämpimän käyttöveden vaatimalla lämpötilatasolla, joka on legionellabakteeri huomioiden 60–70 °C, tasokerääjän hyötysuhde kokonaispinta-alan suhteen on parempi. (3.)

2.2.1 Tasokerääjästä saatava lämpöteho

Tasokerääjällä hyödynnetään auringon säteilyenergiaa. Kuvassa 1 on tyypillisen tasokerääjän tehontuottoarvoja wattia neliömetrille. Ne perustuvat opinnäytetyön tekijän laskelmiin.





KUVA 1. Auringon keskimääräinen säteilyteho vaakaneliölle Oulussa kuukausittain ja kellon-
ajoittain

Taulukosta 1 saatavilla arvoilla voidaan alustavasti arvioida aurinkokerääjien lämmöntuottomääriä

TAULUKKO 1. Tasokerääjästä hyödyksi saatava lämpöenergiamäärä (3; 4; 5)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	[W/m²]	1,19		[kWh/m²]	0,5	0,6	0,7	20m²,60% [kWh]
tammikuu	37	44	24	1	1	1	1	13
helmikuu	171	203	69	14	7	8	10	168
maaliskuu	346	412	137	56	28	34	40	677
huhtikuu	532	634	208	132	66	79	92	1581
toukokuu	657	781	273	213	107	128	149	2560
kesäkuu	708	842	296	249	125	150	174	2991
heinäkuu	681	810	283	229	115	138	160	2751
elokuu	575	684	212	145	72	87	101	1739
syyskuu	401	477	133	63	32	38	44	761
lokakuu	209	249	69	17	9	10	12	206
marraskuu	55	66	28	2	1	1	1	22
joulukuu	9	11	8	0	0	0	0	1
				1123	561	674	786	13471

Sarake 1 Keskimääräinen auringon säteilyteho pilvettömältä taivaalta vaakaneliölle kuukaudessa Oulussa aikavälillä 09:00 - 15:00.

Sarake 2 Vastaava säteilyteho 45° kulmassa suoraan etelään olevalle neliölle. Kerroin 1,19. Tällöin vuotuinen energiansaanti on suurin. Kertoimet: vaakaneliö 1,00, pystyneliö 0,93, 30° 1,18, 45° 1,19, 60° 1,15

Sarake 3 Auringonpaistetuntien kuukausittainen keskiarvo 1981-2010. Ilmatieteen laitos, Helsinki 2012, TILASTOJA SUOMEN ILMASTOSTA 1981-2010

Sarake 4 Etelään 45° kulmassa olevalta neliöltä saatava teoreettinen maksimi energiamäärä/kk.

Sarake 5 50%:n hyötysuhteen aurinkokerääjästä saatava kuukausittainen energiamäärä.

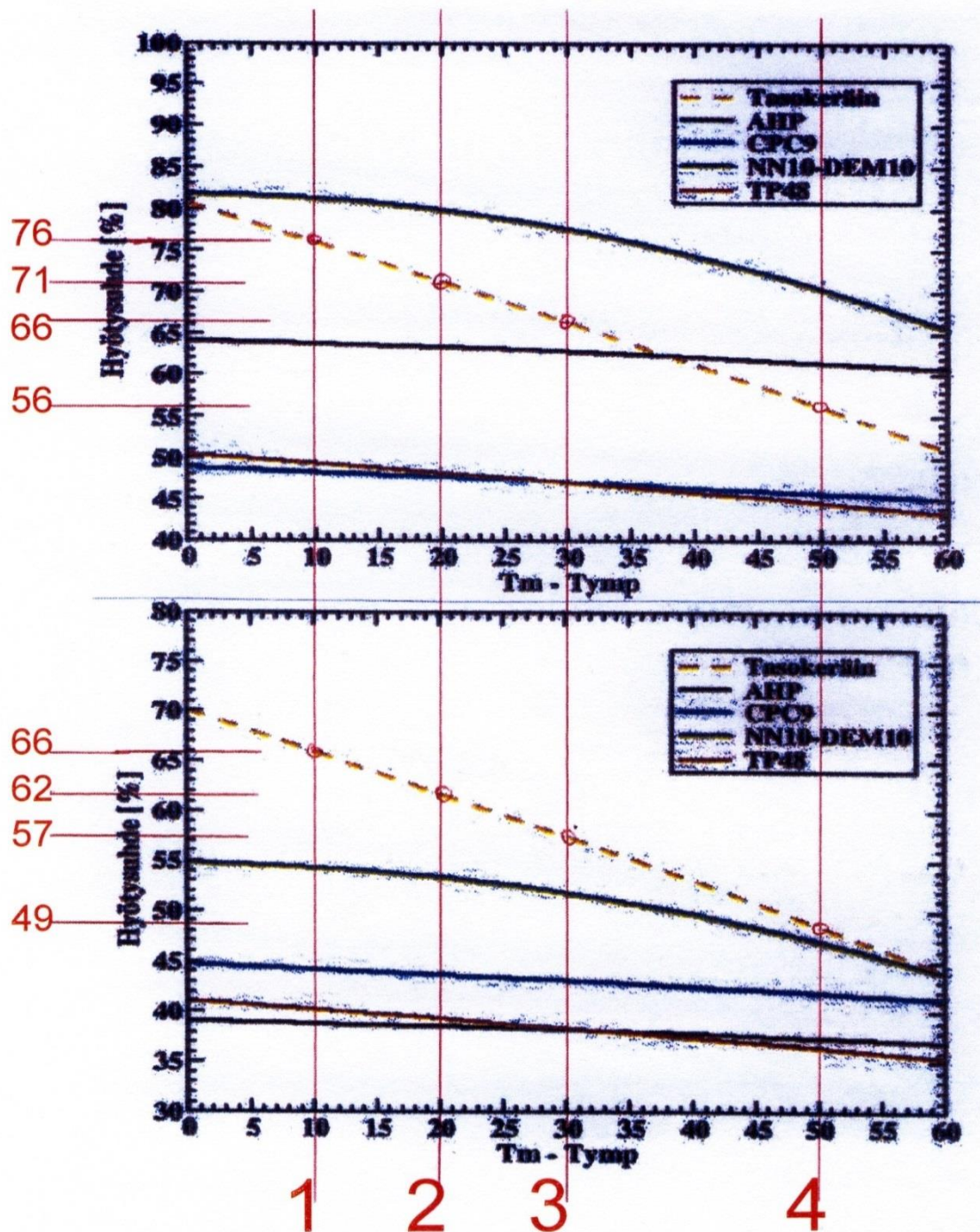
Sarake 6 60%:n hyötysuhteen aurinkokerääjästä saatava kuukausittainen energiamäärä.

Sarake 7 70%:n hyötysuhteen aurinkokerääjästä saatava kuukausittainen energiamäärä.

Sarake 8 Tässä esityksessä käytettävät laskenta-arvot. Kerääjien yhteispinta-ala 20m², hyötysuhde 60%, asennuskulma 45°, asennussuunta suoraan etelään (talviaika klo 12:00).

2.2.2 Aurinkokerääjän hyötysuhde

Kuvassa 2 ylimmäisessä kaaviossa hyötysuhteet on esitetty aktiivisen pinta-alan ja alimmaisessa kaaviossa kokonaispinta-alan suhteen. Vaaka-akselilla on kerääjästä lähtevän latausnesteen ja kerääjän ympäristön välinen lämpötilaero. (3.)



KUVA 2. Pistekatkoviiva kuvaa tasokerääjän hyötysuhdetta ja muut kuvaavat erimerkkisiä tyhjiöputkikeräimiä (3).

2.3 Maa lämmönlähteenä ja lämpövarastona

Maalämpö, jota maalämpöpumpulla hyödynnetään, ja aurinkolämpö, jota aurinkokerääjillä kerätään, on puhdasta ja saasteetonta auringon energiaa. Samaa maa-aluetta, josta lämpöä otetaan, voidaan käyttää myös lämmön varastointiin.

2.3.1 Maalajit

Maalajin toimintaan lämmönlähteenä ja lämpövarastona vaikuttavat ratkaisevasti sen

- raekoko (mm)
- kokonaishuokoisuus (%)
- vedenjohtavuus, vedenläpäisevyys (m/s tai m/d)
- ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C tai kWh/m³°C)
- lämmönjohtavuus (W/m°C)
- veden määrä kuutiossa (kg/m³)

Taulukosta 2 selviää eri maalajien raekoko sekä hydrogeologisia parametrejä (6; 7).

TAULUKKO 2. Eri maalajien raekoko sekä hydrogeologisia parametrejä (6; 7)

Maalaji	Raekoko [mm]	Kok.hu [%]	Ved.joht [m/d]
Sora	2,0...63	25-50	10000-10
Karkea sora	20...63	24-36	>100000
Hieno sora	2,0...6,3	25-38	100000-100
Hiekka	0,063...2,0	25-50	1000-0,1
Karkea hiekka	0,63...2,0	30-46	10000-10
Hieno hiekka	0,063...0,2	26-53	100-0,1
Siltti	0,002...0,063	35-61	1-0,0001
Karkea siltti	0,02...0,063	30-35	10-0,1
Hieno siltti	0,002...0,0063	40-50	1-0,001
Savi	>0,002	34-70	<0,001
Laiha savi	>0,002	40-60	<0,001
Lihava savi	>0,002	60-75	<0,001
Moreeni	>0,06...2,0	20-55	10-0,001

Kok.hu = kokonaishuokoisuus [%]
Ved.joht = vedenjohtavuus [m/d] = [metri/vuorokausi]

Kokonaishuokoisuudella tarkoitetaan maaperän maahiukkasten ja maarakeiden väliin jäävän tyhjän tilan (huokostilan) suhdetta maamassan kokonaistilavuuteen. Maalajien vedenjohtavuudessa on huomattavia eroja. Karkea sora johtaa hyvin vettä, vedenjohtavuus on suurempi kuin 100 km vuorokaudessa. Vastaavasti saven vedenjohtavuus on pienempi kuin 1 mm vuorokaudessa. Kokonaishuokoisuus vaihtelee 20 %...75 %:n välillä (6; 7).

Taulukosta 2 voi päätellä, että paras lämmönlähde- ja varastointimaalaji on täysin veden kyllästämä lihava savi. Tällöin sen huokostila on täynnä lähes paikallaan pysyvää vettä 750 kg savi-kuutiossa. Pohjaveden yläpuolella oleva karkea sora on huono vaihtoehto vedenjohtavuuden takia. Jokainen maakuutio koostuu periaatteessa kolmesta aineesta: maan perusmineraaleista ja sen huokostilaan sitoutuneesta vedestä ja ilmasta. Kaikkien maalajien perusmineraalien tiheys on noin 2650 kg/m³. Maalajin vesipitoisuus määritetään ja ilmoitetaan painoprosentteina kokonaistilavuudesta. Hiekan kokonaishuokoisuudeksi on arvioitu 40 % ja vesipitoisuudeksi on määritetty 20 % ja sen ilmapitoisuus on myös 20 %, kuutiopainoksi saadaan pitoisuuksien suhteessa $(0,6 \cdot 2650 + 0,2 \cdot 1000 + 0,2 \cdot 1,2) \text{ kg/m}^3 = 1790,24 \text{ kg/m}^3$. Lämpötalouden kannalta tärkeän veden määrä on 200 kg/m³. Maalämmön hyödyntämisen suunnitteluvaiheessa on tarpeen selvittää putkiston asennusalueen maalaji, maalajien sekoittuminen ja kerrostuminen, maan vesipitoisuus, pohjaveden pinnan korkeusasema, veden liikkeet asennusalueella ja peruskallion korkeusasema.

2.3.2 Maan ominaislämpökapasiteetti

Maan ominaislämpökapasiteetti on maan eri osatekijöiden tilavuusosilla painotettu summa (6; 7; 8).

$$C_{\text{maa}} = f_s \cdot C_s + f_w \cdot C_w + f_i \cdot C_i \quad \text{KAAVA 1}$$

f_s = maan mineraalien tilavuusosakerroin

C_s = maan mineraalien ominaislämpökapasiteetti = 0,8 kJ/kg°C

f_w = maassa olevan veden tilavuusosakerroin

C_w = veden ominaislämpökapasiteetti = 4,2 kJ/kg°C

f_i = maassa olevan ilman tilavuusosakerroin

C_i = ilman ominaislämpökapasiteetti = 1,0 kJ/kg°C

Soran, hiekan ja hienon siltin kokonaishuokoisuus on maksimissaan 50 %. Tällöin, jos niiden huokostila on kokonaan veden täyttämä, saadaan niiden ominaislämpökapasiteetiksi, kun ilmaa ei ole, seuraava

$$C_{\text{maa}} = (0,5 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 4,2) \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 2,5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Kuutio tällaista maata painaa } (0,5 \cdot 2650 + 0,5 \cdot 1000) \text{ kg/m}^3 = 1825 \text{ kg/m}^3.$$

TAULUKKO 3. Eri maalajien keskimääräisiä ominaislämpökapasiteetteja (6; 7; 8)

Maalaji	Kok.hu-%	Vesi-%	Hu-V m³/m³	1000	2650	1,2	3600	
				4,2	0,8	1		
				Cv kJ/m³°C	Cm kJ/m³°C	Ci kJ/m³°C	Cv+Cm+Ci kJ/m³°C	Cv+Cm+Ci kWh/m³°C
Sora	35	7	0,350	294	1378	0,336	1672,336	0,465
Karkea sora	30	5	0,300	210	1484	0,300	1694,300	0,471
Hieno sora	30	9	0,300	378	1484	0,252	1862,252	0,517
Hiekka	35	18	0,350	756	1378	0,204	2134,204	0,593
Karkea hiekka	35	15	0,350	630	1378	0,240	2008,240	0,558
Hieno hiekka	35	20	0,350	840	1378	0,180	2218,180	0,616
Siltti	45	31	0,450	1302	1166	0,168	2468,168	0,686
Karkea siltti	32	25	0,320	1050	1442	0,084	2491,684	0,692
Hieno siltti	45	40	0,450	1680	1166	0,060	2846,060	0,791
Savi	60	60	0,600	2520	848	0,000	3368,000	0,936
Laiha savi	50	50	0,500	2100	1060	0,000	3160,000	0,878
Lihava savi	70	70	0,700	2940	636	0,000	3576,000	0,993
Moreeni	35	15	0,350	630	1378	0,240	2008,240	0,558
Kok.hu-%	Kokonaishuokoisuus-% keskimäärin							
Vesi-%	Vesipitoisuus-% keskimäärin							
Hu-V m³/m³	Huokoisuustilavuus							
Cv	Huokostilassa olevan veden ominaislämpökapasiteetti							
Cm	Maan mineraalien ominaislämpökapasiteetti							
Ci	Huokostilassa olevan ilman ominaislämpökapasiteetti							

TAULUKKO 4. Jäähdytyksessä ja jäädytyksessä eri maalajeista saatava lämpömäärä.

Maalaji	Cv+Cm+Ci kWh/m³°C	400 m³ 10...0 °C kWh	400 m³ 20...0 °C kWh	400 m³ 30...0 °C kWh	400 m³ 40...0 °C kWh	Vesi-%	Vesimäärä kg/m³	Jäädytys 0 °C:ssa kWh
Sora	0,465	1858	3716	5574	7433	7	70	2598
Karkea sora	0,471	1883	3765	5648	7530	5	50	1856
Hieno sora	0,517	2069	4138	6208	8277	9	90	3341
Hiekka	0,593	2371	4743	7114	9485	18	180	6682
Karkea hiekka	0,558	2231	4463	6694	8926	15	150	5568
Hieno hiekka	0,616	2465	4929	7394	9859	20	200	7424
Siltti	0,686	2742	5485	8227	10970	31	310	11507
Karkea siltti	0,692	2769	5537	8306	11074	25	250	9280
Hieno siltti	0,791	3162	6325	9487	12649	40	400	14848
Savi	0,936	3742	7484	11227	14969	60	600	22272
Laiha savi	0,878	3511	7022	10533	14044	50	500	18560
Lihava savi	0,993	3973	7947	11920	15893	70	700	25984
Moreeni	0,558	2231	4463	6694	8926	15	150	5568
400 m³ 10...0 °C	Lämpömäärä [kWh], joka saadaan lämpöpumpulla hyödyksi, kun 400 m³ ko. maalajia jäähdytetään +10...0 °C:een.							
Jäädytys 0 °C:ssa	Lämpömäärä [kWh], joka saadaan lämpöpumpulla hyödyksi, kun 400 m³:ssa ko. maalajia oleva vesi jäädytetään 0 °C:ssa.							
0,0928	kWh/kg on jään ominaissulamislämpö							

3 TALO ILLIKAINEN

3.1 Kohteen kuvaus

Rakennus sijaitsee Oulun Parkkisenkankaalla. Sen bruttoala on 334 brm² ja rakennustilavuus 1100 rak-m³. Huoneistoala on 198 hum² ja ilmatilavuus 820 m³. Talo Illikaisen hybridilämmöntuottojärjestelmän kytkentä- ja toimintakaaviot ovat liitteissä 2, 3, 4 ja 5. Niiden pohjalta opinnäytetyötä ryhdyttiin keväällä 2012 tekemään ja jalostamaan. Rakennuksessa on neljä rinnakkaista lämmöntuottojärjestelmää: kalliolämpöpumppu + lämpöpumpun 300 l:n varaaja, vesitakka, aurinkokerääjät ja sähkövastukset. Järjestelmään kuuluu lisäksi 1000 l:n energiavaraaja, jota ladataan vesitakalla ja aurinkokerääjillä. Energiavaraajaa puretaan käyttöveden lämmittämiseen, rakennuksen lattialämmityspiiriin sekä uima-allasveden lämmittämiseen kesäaikana. Kalliolämpöpumppulla hoidetaan ensisijaisesti rakennuksen tilojen lämmitys ja tarvittaessa käyttöveden loppulämmitys. Vesitakassa ja leivinuunissa voi polttaa kylminä vuodenaikoina uusiutuvaa kotimaista polttoainetta puuta ja hankkia näin etua energiatehokkuuteen alhaisesta energiamuodon kertoimesta 0,5. Järjestelmässä on 10 pumppua ja runsaasti ohjaus- ja säätötekniikkaa.

Kaavioista liitteissä 4 ja 5 selviää, että tuloilmakoneen TK01:n ulkoilmaa esilämmitetään talvella kalliolämpöpiiristä kierrätettävällä nesteellä ja pyritään näin estämään LTO-kennon huurtuminen ja jäätyminen. Samaa laitteistoa voidaan käyttää kesäaikana ulkoilman jäähdyttämiseen. Jäähdytyslämpö siirtyy kallioon varastoon. TK02:n ulkoilmakanavassa on vastaavanlainen laitteisto, mutta esilämmitys- ja jäähdytysneste kiertää omassa maapiirissään.

Kalliolämpöpumppu on Diplomat Duo 10. Lämpöpumpun varaaja on MBH TWS 300 RF. Järjestelmään kuuluu lisäksi yhteensä viisi kiertovesipumppua. Talo Illikaisessa on kuusi NN 10 tyhjiöputkikeräintä. Ne on asennettu kaakkoon 30°:n kulmaan. Rakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys, joka on mitoitettu lämpötiloille 40/35 °C ja lattiarakenteet rajoittuvat pääasiassa maata vasten.

3.2 Talo Illikaisen teoreettinen energiankulutus

Rakennuksen energiankulutuslaskelmat ja E-luvun laskelmat perustuvat liitteessä 1 lomakkeella energiatodistuksen laskennan lähtötiedot annettuihin tietoihin. Lomake kuuluu rakennuksesta laadittuun energiatodistukseen, joka on päivätty 26.04. 2011. Siinä rakennuksen energiatehok-

kuusluvaksi vanhan laskentatavan mukaan (ET-luku, kWh/brm²/vuosi) on saatu 91. Tällä arvolla rakennus sijoittuu parhaaseen A-luokkaan. A-luokan ylärajan arvo on 150. Lomakkeesta selviää, että rakennuksen nettoala on 198 m². Sen perusteella rakennukselle on laskettu E-luvun vertailuarvo, joka on 159,14 kWh/m² vuodessa (1). Kokonaisenergiankulutuksen laskenta ja kesäajan huonelämpötilan laskenta on tehty säävyöhykkeen 1 säätiedoilla. Maksimi lämmitystehontarve (12,4 kW) on laskettu rakennuspaikkakunnan mitoittavalla ulkoilman lämpötilalla –32 °C.

Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde $\eta_{\text{lämmitys,tilat}} = 0,8$. Jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö on huomioitu lämpimän käyttöveden varastoinnissa ja lämpöhäviöitä lämmittämättömään tilaan ei ole. $Q_{\text{lämmitys,IV}}$ on IV-koneissa tapahtuvaa lämmöntalteenoton jälkeisen ulkoilman lämmittämistä sisäpuhalluslämpötilaan +16°C. Se voidaan tehdä sähkö- tai vesikiertoisella jälkilämmityspatterilla. Taulukkoon 5 on laskettu kaikki rakennuksen lämmitysenergian tarpeet kilowattitunteina. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta, jotka lasketaan erikseen. Uusiutuvat polttoaineet käsitellään osana uusiutuvaa osatoenergiaa. Jos rakennuksessa on kaksi tai useampia lämmöntuottojärjestelmiä, lasketaan lämmitysenergian kulutus järjestelmittäin kyseessä olevan järjestelmän hyötysuhteen ja järjestelmään kohdistuvan lämmöntarpeen avulla.

Erillisessä pientalossa, jossa on lkv-kiertojohto, lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde $\eta_{\text{lkv,siirto}} = 0,96$. Rakennuksessa on yksi 1000 l:n varaaja 100 mm:n eristeellä ja 300 l:n lämpöpumpun varaaja, jossa on 40 mm:n eristys. Niiden lämpöhäviöt ovat 200 kWh/kk /2/. Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt ovat 14 kWh/kk. Taulukkoon 5 on laskettu kuukausittaiset lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeet.

TAULUKKO 5. Talo IIIikaisen kaikki lämmitysenergian tarpeet kuukausittain

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.
Q _{tila}	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Q _{sis.lämpö}	613	658	931	1062	1196	1081	906	943	939	711	607	604	10250
Q _{läm,tilat,netto}	2640	2351	2219	1276	552	230	76	150	668	1390	2015	2414	15982
$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$	0,8												
Q _{lämmitys, tilat}	3300	2939	2774	1595	690	288	95	187	835	1737	2518	3018	19977
Q _{lämmitys, lkv}	828	768	828	808	828	808	828	828	808	828	808	828	9795
Q _{lämmitys, iv}	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718

3.3 Talo IIIikaisen teoreettinen uusiutuvan omavaraisenergian määrä

Kalliolämpöpumpun vuotuinen energiatase on seuraava:

Uusiutuvaa omavaraisenergiaa	12691 + 4765 =	17456 kWh
Sähköenergiaa	6043 + 3665 =	9708
Osatehomoituksesta johtuvaa lisäenergiaa	579 + 261 =	840

TAULUKKO 6. Talo IIIikaisen aurinkokerääjien laskennallinen tuotto (3)

1	2			
[°C]	[%]			
0	55	Nettoenergia kuukausittain:		
5	55		0,475	
10	54	tammi	7	4
15	54	helmi	72	34
20	53	maalis	313	148
25	53	huhti	749	356
30	52	touko	1226	582
35	51	kesä	1437	682
40	50	heinä	1320	627
45	49	elo	828	393
50	47	syys	355	168
55	45	loka	91	43
60	43	marras	13	6
65	41	joulu	1	0
70	40		3045	kWh/a
75	36			
80	30			
	47,5	% keskimäärin vuodessa		
1	Tmeno - Tympäristö on kerääjästä lähtevän nesteen ja kerääjän ympäristön välinen lämpötilaero.			
2	Tyhjiöputkikerääjien (6 kpl) hyötysuhde kokonaispinta-alan suhteen keskimäärin vuodessa.			

TK01:n ulkoilmakanavassa olevassa esilämmityspatterissa kierrätetään automatiikan ohjaamana porakaivossa lämmennyt etanoliliuosta siten, että LTO-kennolle tulevan ulkoilman lämpötila ei kovallakaan pakkasella ole kylmempää kuin -5°C . Ulkoilmamäärä on pakkasella $35\text{ dm}^3/\text{s}$. Po-

rakaivosta tulevan nesteen lämpötila on 3 °C ja porakaivoon palaavan -1 °C. Pysyvyyskäyrän mukaan Oulussa on vuodessa keskimäärin 80 vuorokautta, jolloin on kylmempää kuin -5 °C ja keskilämpötila on tällöin keskimäärin -10°C. Hyödyksi saatavan uusiutuvan omavaraisenergian määrä on 403 kWh. Saanti jakaantuu pääosin viidelle talvikuukaudelle.

TK02:n ulkoilmakanavassa olevassa esilämmityspatterissa kierrätetään automatiikan ohjaamana maahan upotetussa muoviputkessa PEM 40*2,4 lämmennytä etanoliliuosta siten, että LTO-kennolle tulevan ulkoilman lämpötila ei kovallakaan pakkasella ole kylmempää kuin -10 °C. Lämmönkeruuputkiston pituus on 100 m ja sisätilavuus 100 dm³. Oulussa on vuodessa 40 vuorokautta, jolloin on kylmempää kuin -10 °C. Keskilämpötila on tällöin -15 °C. Ulkoilmamäärä on 15 dm³/s. Hyödyksi saatavan omavaraisenergian määrä on 86 kWh.

Tuloilman keskimääräinen jäähdystarve ajoittuu kolmelle kesäkuukaudelle.

TK01:n tuloilmamäärä on 104 dm³/s ja TK02:n 30 dm³/s

Kesäkuussa 17,9 °C → 15 °C, $\Delta T = 2,9$ °C

Jäähdytysenergian määrä kesäkuussa on 336 kWh.

Heinäkuussa 20,9 °C → 15 °C, $\Delta T = 5,9$ °C

Jäähdytysenergian määrä heinäkuussa on 706 kWh.

Elokuussa 18,3 °C → 15 °C, $\Delta T = 3,3$ °C

Jäähdytysenergian määrä elokuussa on 396 kWh.

Taulukkoon 7 on laskettu kaikki rakennuksen lämmöntuottolaitteilla saatava omavaraisenergian määrä.

TAULUKKO 7. Talo Illikaisen uusiutuvan omavaraisenergian määrä

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht. [kWh]
Kallioliämpöpumppu	2367	2125	2099	1428	939	680	550	625	997	1504	1924	2218	17456
Aurinkokerääjät	4	34	148	356	582	682	627	393	168	43	6	0	3045
Ulkoilman esilämmitys	169	90	80	30	0	0	0	0	0	0	40	80	489
Ulkoilman jäähdytys	0	0	0	0	0	336	706	396	0	0	0	0	1438
	2540	2249	2327	1814	1521	1698	1883	1414	1165	1547	1970	2298	22428

4 LÄMMITYSMUODON VAIKUTUS TALO ILLIKAISEN E-LUKUUN

Seuraavilla viidellä erilaisella lämmöntuottojärjestelmällä hoidetaan kaikki talo Illikaisen taulukossa 5 esitetyt lämmitysenergian tarpeet. Lämmitysjärjestelmien ostoenergiat lasketaan ja ostoenergioiden perusteella lasketaan lämmitysmuotojen kertoimilla korjatut E-luvut. E-lukuja verrataan talo Illikaisen E-lukuun, joka on 159,14 kWh/m² (1).

4.1 Suora sähkölämmitys

Energiamuotojen kertoimilla on suuri vaikutus lämmöntuotantomuodon paremmuuteen ja valintaan. Taulukkoon 8 on laskettu ostoenergiat ja E-luku silloin, kun energiamuodon kerroin on huonoin mahdollinen 1,7 eli, kun lämmöntuotantomuotona on suora sähkölämmitys. Lämmin käyttövesi valmistetaan 300 l:n varaajassa 4,5 kW:n sähkövastuksella. Lämmönjaon ja lämmöntuoton hyötysuhde on 1,0.

TAULUKKO 8. Talo Illikaisen lämmittäminen suoralla sähköllä

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.
Qtila	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö	667	712	985	1116	1241	1108	916	964	990	765	661	658	10782
Qläm,tilat,netto	2586	2297	2165	1222	507	203	66	129	617	1336	1961	2360	15450
ηlämmitys, tilat	1												
Qlämmitys, tilat	2586	2297	2165	1222	507	203	66	129	617	1336	1961	2360	15450
Qlämmitys, lkv	736	676	736	716	736	716	736	736	716	736	716	736	8691
Qlämmitys, iv	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto												
	ηtuotto												
Qlämmitys, suoralla sähköllä:													
Qlämmitys, tilat			15450										
Qlämmitys, lkv			8691										
			24141										
ηtuotto, suora sähkö			1,00										
Ostoenergia (sähkö)			24141	kWh	Ostoenergia 1								
Wlämmitys = Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumput + WLP, lämmitys													
Wlkv, pumppu			61										
Wlämmitys, ostoenergia			61	kWh									
Wilmanvaihto			1751	Puhaltimet									
			1718	IV-koneiden sähköpatterit									
Wkuluttajalaitteet			3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian									
Wvalaistus			1388										
Sähkö, ostoenergia yhteensä			8048	kWh	Ostoenergia 2								
Eosto =	24141	8048	198	162,57	kWh/(m ² a)								
E =	1,7	24141	198	207,27									
	1,7	8048	198	69,10									
				276,37	kWh/m ² >> 159,14 kWh/m ²								

4.2 Kalliolämpöpumppu ja varaaja

Taulukkoon 9 on laskettu ostoenergiat ja E-luku silloin, jos rakennusta lämmitettäisiin ainoastaan nykyisellä osatehokalliolämpöpumpulla. Lämmin käyttövesi valmistetaan osittain lämpöpumpun 3 ja 6 kW:n sähkövastuksilla. Lämmönjaon hyötysuhde on 0,8 ja lämmöntuoton hyötysuhde on 1,0. Toimintakaavio on esitetty liitteessä 2.

TAULUKKO 9. Talo IIIikaisen lämmittäminen nykyisellä kalliolämpöpumpulla

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.[kWh]	
Qtila	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232	
Qsis.lämpö	667	712	985	1116	1241	1108	916	964	990	765	661	658	10782	
Qläm,tilat,netto	2586	2297	2165	1222	507	203	66	129	617	1336	1961	2360	15450	
ηlämmitys, tilat	0,8													
Qlämmitys, tilat	3233	2872	2706	1528	634	253	83	162	771	1670	2451	2950	19313	
Qlämmitys, lkv	736	676	736	716	736	716	736	736	716	736	716	736	8691	
Qlämmitys, iv	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718	
U-ilm esilämm	169	90	80	30	0	0	0	0	0	0	40	80	489	
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto													
					ηtuotto									
								osateho		omavar		yht.		
Qlämmitys, kalliolämpöpumpulla:						sähkö		sähkö		energia				
Qlämmitys, tilat				19313		6043		579		12691		19313		
Qlämmitys, lkv				8691		3665		261		4765		8691		
Lämpöpumpun omavaraisenergia				17456		9708		840		17456		28004		
Ulkoilman esilämmitys				489										
				10059	(summa sisältää myös osatehosähkön)									
ηtuotto, lämpöpumppu				1,00										
Lämpöpumpun ostoenergia (sähkö)				10059	kWh	Ostoenergia 1								
Wlämmitys = Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumput + WLP, lämmitys														
Wtilat				526	Pumppu P2									
				28	Pumppu P7									
Wtuotto, apu				1120	Pumppu P1									
				62	Pumppu P9									
				37	Pumppu P10									
Wlkv, pumppu				61	Pumppu P8									
				200	Säätölaitteet									
WLP, lämmitys, osatehomoituksesta				0										
Wlämmitys, ostoenergia				2034	kWh									
Wilmanvaihto				1751	Puhaltimet									
				0	Tuloilman lämmitysenergia varaajasta									
Wkuluttajalaitteet				3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian									
Wvalaistus				1388										
Sähkö, ostoenergia yhteensä				8303	kWh	Ostoenergia 2								
Eosto =	10059	8303	198	92,74	kWh/(m²a)									
E =	1,7	10059	198	86,36										
	1,7	8303	198	71,29										
				157,65	kWh/m² > 159,14 kWh/m²									

4.3 Kalliolämpöpumppu/aurinkokerääjähybridi

Taulukon 10 arvot liittyvät hybridilämmöntuottojärjestelmään. Taulukon 9 järjestelmään verrattuna siihen on lisätty aurinkokerääjät, 1000 l:n energiavaraaja, pumppu P4 ja säätötekniikkaa. Toimintakaavio on esitetty liitteessä 3. E-luvusta tulee tässä tapauksessa pienempi kuin vertailuarvo.

TAULUKKO 10. Kalliolämpöpumppu/aurinkokerääjät-hybridistä saatava lämpöenergia

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.[kWh]
Qtila	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö	713	758	1031	1162	1297	1199	1063	1071	1037	810	707	704	11552
Qläm,tilat,netto	2540	2251	2119	1176	451	112	0	22	569	1290	1915	2314	14761
ηlämmitys, tilat	0,8												
Qlämmitys, tilat	3175	2814	2649	1470	564	140	0	28	712	1612	2393	2893	18451
Qlämmitys, lkv	828	768	828	808	828	808	828	828	808	828	808	828	9795
Qlämmitys, iv	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Ulkoilm. esil.	169	90	80	30	0	0	0	0	0	0	40	80	489
Aurinkoker.	4	34	148	356	582	682	627	393	168	43	6	0	3045
LP:n omavaren.	2367	2125	2099	1428	939	680	550	625	997	1504	1924	2218	17456
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto												
	ηtuotto												
Qlämmitys, kalliolämpöpumpulla:													
Qlämmitys, tilat				18451									
Qlämmitys, lkv				9795									
Lämpöpumpun omavaraenergia				17456									
Aurinkokerääjistä				3045									
Ulkoilman esilämmitys				489									
				7256									(summa sisältää myös osatehosähkön)
ηtuotto, lämpöpumppu				1,00									
Lämpöpumpun ostoenergia (sähkö)				7256	kWh	Ostoenergia 1							
Wlämmitys = Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumput + WLP, lämmitys													
Wtilat				526	Pumppu P2								
				28	Pumppu P7								
Wtuotto, apu				1120	Pumppu P1								
				62	Pumppu P9								
				37	Pumppu P10								
				42	Pumppu P4								
Wlkv, pumppu				61	Pumppu P8								
				240	Säätölaitteet								
WLP, lämmitys, osatehomitoituksesta				0									
Wlämmitys, ostoenergia				2116	kWh								
Wilmanvaihto				1751	Puhaltimet								
				0	Tuloilman lämmitysenergia energiavaraajasta								
Wkuluttajalaitteet				3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian								
Wvalaistus				1388									
Sähkö, ostoenergia yhteensä				8385	kWh	Ostoenergia 2							
Eosto =	7256	8385	198	78,99	kWh/(m²a)								
E =	1,7	7256	198	62,30									
	1,7	8385	198	71,99									
				134,29	kWh/m²	< 159,14 kWh/m²							

4.4 Kaukolämpö

Kaukolämmitys on toimintavarma, helppohoitoinen ja ympäristöystävällinen lämmöntuotantomuoto. Kaukolämpöön kannattaa yleensä liittyä, jos sitä on kohtuuhintaan rakennuspaikkakunnalla tarjolla. Taulukkoon 11 on laskettu talo IIIikaisen lämmittäminen kaukolämmöllä. Järjestelmään kuuluu lämmityksen ja käyttöveden lämmönsiirrin, ei varaajia.

TAULUKKO 11. Talo IIIikaisen lämmittäminen kaukolämmöllä

		tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.
Qtila		3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö		613	658	931	1062	1196	1081	906	943	939	711	607	604	10250
Qläm,tilat,netto		2640	2351	2219	1276	552	230	76	150	668	1390	2015	2414	15982
ηlämmitys, tilat		0,8												
Qlämmitys, tilat		3300	2939	2774	1595	690	288	95	187	835	1737	2518	3018	19977
Qlämmitys, lkv		628	568	628	608	628	608	628	628	608	628	608	628	7395
Qlämmitys, iv		361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto													
Qlämmitys, kaukolämmöllä:														
Qlämmitys, tilat					19977									
Qlämmitys, lkv					7395									
					27372									
ηtuotto, kaukolämpö					0,94									
Kaukolämpö, ostoenergia					29119	kWh	Ostoenergia 1							
Wlämmitys =	Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumput + WLP, lämmitys													
Wtilat					526	Lattialämmityspiirin pumppu P2								
					131	Säätölaitteet								
Wlkv, pumppu					61									
Wlämmitys, ostosähköenergia					718	kWh								
Wilmanvaihto					1751	Puhaltimet								
					0	Tuloilman lämmitys kaukolämmöllä sisänpuhalluslämpötilaan +16°C								
Wkuluttajalaitteet					3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian								
Wvalaistus					1388									
Sähkö, ostoenergia yhteensä					6987	kWh	Ostoenergia 2							
Eosto =	29119	6987	198		182,35	kWh/(m²a)								
E =	0,7	29119	198		102,95									
	1,7	6987	198		59,99									
					162,94	kWh/m²	> 159,14 kWh/m²							

4.5 Pellettilämmitys

Pelletti on uusiutuva polttoaine. Sen energiamuodon kerroin on kohtuullinen 0,5. Järjestelmään kuuluu pellettikattila (20 kW), jonka yhteyteen on integroitu 200 l:n vesitila sekä pellettipoltin. Vesitilassa on käyttöveden lämmityskierukka. Pellettilämmityksellä päästään E-luvun vertailuarvon alapuolelle, kun myös tuloilmaa jälkilämmitetään pellettikattilasta otettavalla lämpöenergialla.

TAULUKKO 12. Talo IIIikaisen lämmittäminen pelletillä

		tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.
Qtila		3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö		667	712	985	1116	1241	1108	916	964	990	765	661	658	10782
Qläm,tilat,netto		2586	2297	2165	1222	507	203	66	129	617	1336	1961	2360	15450
ηlämmitys, tilat	0,8													
Qlämmitys, tilat		3233	2872	2706	1528	634	253	83	162	771	1670	2451	2950	19313
Qlämmitys, lkv		736	676	736	716	736	716	736	736	716	736	716	736	8691
Qlämmitys, iv		361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto													
Qlämmitys, pelletti:														
Qlämmitys, tilat				19313										
Qlämmitys, lkv				8691										
				28004										
ηtuotto, pelletti				0,75										
Ostoenergia, pelletti				37338	kWh	Ostoenergia 1								
Wlämmitys = Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumput + WLP, lämmitys														
Wtilat				237	Pumppu P7									
Wlkv, pumppu				61										
Wlämmitys, ostoenergia				298	kWh									
Wilmanvaihto				1751	Puhaltimet									
				0	Tuloilman lämmitys pellettilämmityksellä									
Wkuluttajalaitteet				3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian									
Wvalaistus				1388										
Sähkö, ostoenergia yhteensä				6567	kWh	Ostoenergia 2								
Eosto =	37338	6567	198	221,74	kWh/(m²a)									
E =	0,5	37338	198	94,29										
	1,7	6567	198	56,38										
				150,67	kWh/m²	< 159,14 kWh/m²								

Taulukkoon 13 on tehty yhteenveto edellisten viiden lämmöntuottojärjestelmän E-luvusta ja verrattu niitä talo Illikaisen E-lukuun. Kolmella lämmöntuottojärjestelmällä päästään vertailu E-luvun alapuolelle.

TAULUKKO 13. Lämmöntuottojärjestelmien vertailu.

Lämmöntuottojärjestelmä	E-luku kWh/m ²	Vertailu E-luku kWh/m ²
Kalliolämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridi	134,29 <	159,14
Pellettilämmitys	150,67 <	159,14
Kalliolämpöpumppu ja varaaja	157,65 <	159,14
Kaukolämpö	162,94 >	159,14
Suora sähkölämmitys	276,37 >	159,14

5 TALO ILLIKAISEN ENERGIAATEHOKKAIN LÄMMÖNTUOTTOJÄRJESTELMÄ

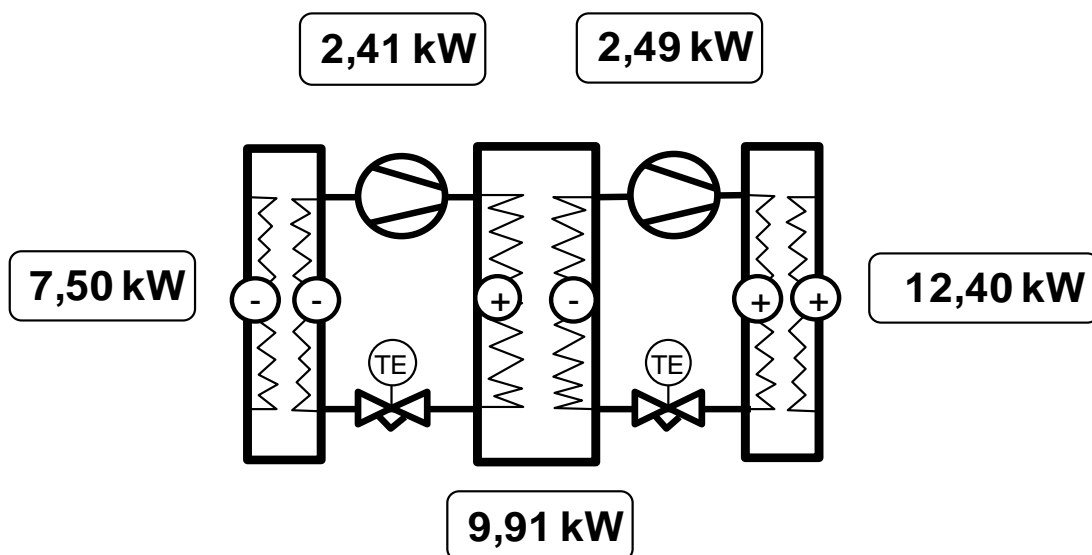
Tähän maalämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridiin kuuluvat 2-portainen maalämpöpumppu, lihavasta savesta tehty 400 m³:n maalämpöakku, 20 m² tasoaurinkokerääjiä, 1000 l:n energiavaraaja sekä kaikki nämä laitteet yhdistävät putkistot ja toimintaa ohjaavat säätölaitteet. Tämän hybridijärjestelmän sydän on oikean muotoinen ja sopivan kokoinen varaaja. Se on kapea ja korkea, ja siinä on kolme selvää kerrostuma-aluetta 30... 50 °C, 50... 70 ja 70...90 °C. Järjestelmän varaajan tilavuus on 1000 l, ja siinä on kaksi aurinkokierukkaa ja kaksi käyttövesikierukkaa, sekä 100 mm:n polyuretaanieriste.

5.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu on kaksiportainen ja siinä on kylmäainena R134a. Se on täysiteho lämpöpumppu, jonka maksimiteho lauhtutinp puolen 2-portaasta on 12,4 kW. Mitoitustiedot perustuvat liitteessä 8 esitettyyn tilapiirrookseen. Laitteiston periaatepiirros on kuvassa 3.

Kylmäteho 9,91 kW, massavirta 0,081 kg/s, lämpöteho 12,40 kW, kompressorin ottoteho 2,49 kW

Kompressorien ottoteho yhteensä $2,41 + 2,49 = 4,90$ kW



KUVA 3. Periaatekuva kaksiportaisesta maalämpöpumpusta ja sen tehon kulutuksesta ja tuotosta

5.2 Tasaurinkokerääjät

Taulukosta 1 sivulta 10 ja sen sarakkeesta 8 saadaan tähän lämmöntuottojärjestelmään kuuluvan 20 m²:n tasokerääjien kuukausittainen ja vuotuinen uusiutuvan omavaraisenergian määrä kerääjien 60 %:n hyötysuhteella. Vuotuisen omavaraisenergian määrä on 13471 kWh.

Latausnestettä kierrätetään aurinkokerääjien, energiavaraajan ja maalatauspiirin kautta. Etanolin käyttö on mahdollista molemmissa piireissä, koska maksimi lämpötila hybridijärjestelmässä on 75 °C. Automaatiikalla hoidetaan, että lämpötila kerääjien yläosassa ei nouse yli 75 °C:n. Sen jälkeen kun vesivaraaja on varattu täyteen kaikki ylimääräinen lämpöenergia ohjataan maahan. Kuvassa 2 tilanne vastaa T_m-T_{ymp} tapausta 4, 75-25 = 50 °C. Tällöin tasokerääjien (20 m²) hyötysuhde kokonaispinta-alan suhteen on 49 % ja aktiivisen pinta-alan suhteen 56 %. Kuvasta 2 selviää, että mitä pienemmällä lämpötilaerolla (T_m-T_{ymp}) tasokerääjiä hyödynnetään sen parempi on hyötysuhde. Jo helmikuussa, kun ulkolämpötila on ajottain nollan paikkeilla ja heikot auringonsäteet osuvat kerääjiin, on teoriassa mahdollista lämmittää maata kerääjistä lähtevällä 5 °C:n latausnestellä. Kerääjän hyötysuhde olisi tällöin kuvan 2 mukaan 68 %. Taulukosta 1 selviää, että 20 m²:n tasokerääjistä saadaan 60 %:n hyötysuhteella helmikuussa 168 kWh lämpöenergiaa.

5.3 Lämpöakku

Tässä lämmöntuottojärjestelmässä lämmönkeruupiiri ja lämmönlatauspiiri toteutetaan kahtena, toisistaan erillisinä piirinä. Toiminta- ja kytkentäkaavio on esitetty liitteessä 6. Tällä saavutetaan se etu, että säätö- ja ohjausjärjestelmästä tulee selkeämpi, yksinkertaisempi ja sitä kautta toimintavarmempi. Lämmön keräämistä ja varastoimista varten tehdään lihavasta savesta 10*20*2 m = 400 m³:n lämpöakku. Kaivannon pohjalle levitetään suodatinkangas sekä luja ja tiivis muovikalvo. Kaivanto täytetään kerroksittain paikalle tuodulla lihavalla savella. Lämmönkeruu- ja latausputkisto asennetaan kerrosten väliin. Haluttaessa lämpöakku voidaan eristää Styrox- tai Finnfoam- evyillä.

5.4 Keräys- ja latausputkisto

Keräysputkena käytetään PEM 40*2,4 PN 6,3 muoviputkea ja latausputkena PE-RT 25*2,3 70°C/6 bar WehoMelt-putkea. Keräys- ja latausputki sidotaan kiinni toisiinsa nippusiteillä. Ne

asennetaan samaan kaivantoon kahteen vaakakerrokseen, joista alimmainen on 1,7 m:n syvyydessä ja ylimmäinen 0,7 m:n syvyydessä maan pinnasta. Alimmaisessa ja ylimmäisessä kerroksessa on 5 kpl noin 50 m:n keruu- ja latauslenkkejä. Tällöin molempien piirien yhteispituudeksi tulee 500 m. Putket asennetaan 1 m:n välein. Vaadittava maa-ala on $10 \times 20 = 200 \text{ m}^2$ ja lämpöakku hyödynnettävän lihavien saven tilavuus on $10 \times 20 \times 2 = 400 \text{ m}^3$.

Lataus- ja keruupiirin virtauksen ohjauksessa maahan pääperiaatteena on, että virtaukset kulkevat vastakkaisiin suuntiin. Keruuneste (etanoli 20 %) menee ensin 3-celsiusasteisena alakerrokseen, kiertää sen 5 lenkissä, palaa jakotukille ja kiertää sen jälkeen vielä yläkerroksen 5 lenkkiä. Latausneste (etanoli 50 %) menee ensin yläkerrokseen ja sen jälkeen palaa 5 alakerroksen kautta kerääjälle. Molempia piirejä voidaan kuitenkin ajaa yhdessä tai erikseen ala- ja yläkerroksen kautta. Toimintakaavio on esitetty liitteessä 6.

5.5 Pumput

Lämmöntuottojärjestelmässä on yhteensä viisi kiertovesipumppua.

1. Lämpöakun ja energiavaraajan latauspumppu P1 (etanoli 50%)
Grundfos Magna Solar 25-100 PWM, keskimääräinen ottoteho 110 W
2. Lämpöpumpun lauhdutinpuolen pumppu P2 (varaajan vesi)
Grundfos UPM2 25-60, keskimääräinen ottoteho 40 W
3. Lämpöakun lämmönkeruupiirin pumppu P3 (etanoli 20%)
Grundfos Magna Geo 32-100 PWM, keskimääräinen ottoteho 140 W
4. Lattialämmityspiirin pumppu P4 (varaajan vesi)
Grundfos UPM2 25-60, keskimääräinen ottoteho 40 W
5. Käyttöveden kiertopumppu P5 (lämmön käyttövesi)
Grundfos Comfort UP15-14B PM, ottoteho käyntiaikana 7 W

5.6 Maalämpöpumpun, aurinkokerääjien ja lämpöakun toiminta

Tässä hybridissä on yksi päälämmöntuottojärjestelmä, täysitehomaalämpöpumppu ja yksi lisälämmöntuottojärjestelmä, aurinkokerääjät. Hybridin ohjaus- ja säätöjärjestelmästä tulee kuitenkin suhteellisen monivaiheinen ja monimutkainen. Jos tavoitteena on järjestelmän täysin automaattinen toiminta, on järjestelmän suunnittelu ja toimintakuntoon virittäminen vaativa tehtävä.

5.6.1 Lämpötila-anturi TE1

TE1 on koko hybridijärjestelmän pääohjausanturi. Se mittaa aurinkokerääjän yläosan latausnesteen (vesi/etanoliseos 50 %) lämpötilaa ja ohjaa pumpun P1 sekä vaihtventtiilin TV1 toimintaa. Liitteissä 6 ja 7 on esitetty järjestelmän kytkentä- ja toimintakaavio.

5.6.2 Lämpötila-anturi TE5 ja TE12

Anturit mittaavat energiavaraajan veden lämpötilaa. Anturi TE5 mittaa varaajan puolivälistä ja TE12 varaajan yläosasta. Säätökeskus TC1 ohjaa maalämpöpumpun käyntiä TE5:n ja TE12:n mittaustuloksen perusteella aina, kun vaihtventtiilin TV1 A-haara on kiinni ja B-haara on auki. Lämpöpumppu käynnistyy 60 °C:ssa (TE12) ja pysähtyy 75 °C:ssa (TE5). Pumput P2 ja P3 käynnistyvät 60 s ennen kompressorien käynnistymistä minimi virtaamalle. Lämpötila-anturi TE8 ohjaa kierroslukusäätöistä pumppua P3 siten, että maahan menevän keruunesteen lämpötila pysyy 3 °C:ssa.

Lämpötila-anturi TE9 ohjaa kierroslukusäätöistä pumppua P2 siten, että varaajaan menevän veden lämpötila pysyy 75 °C:ssa. Kun TV1:n A-haara on auki ja B-haara kiinni, lämpöpumppu ei voi käynnistyä, eivät myöskään pumput P2 ja P3.

5.6.3 Pumppu P1

Kun TE1:n lämpötila on pienempi kuin 10 °C (–32...10°C) pumppu P1 ei voi käynnistyä. Virtausanturi VM 1 varmistaa, että virtaus kerääjään menevässä putkessa on 0 dm³/s. Vaihtventtiilin TV1 ja TV4 A-haara on kiinni. Kun auringonsäteet lämmittävät latausnestettä ja lämpötila

TE1:n kohdalla nousee 10 °C:seen, käynnistyy pumpppu P1 virtausmittarin VM1 ohjaamana pienelle vakiovirtaamalle 0,02 dm³/s (1,2 dm³/min, 72 dm³/h) 10 minuutin ajaksi. Säätokeus suorittaa maalatauspiirin lämpötilaerotestin. Jos lämpötilaero antureiden TE1 ja TE2 välillä on 10 minuutin jälkeen suurempi tai yhtäsuuri kuin 10 °C, säätokeus TC1 ohjaa pumpun P1 pyörimisnopeutta siten, että ero pysyy 10 °C:na. Vakiovirtaama 0,02 dm³/s ja $\Delta T = 10\text{ °C}$ vastaa auringon säteilytehoa 684 W. Säteilytehon kasvaessa pyörimisnopeus kasvaa ja päinvastoin. Lämpötilaeron pientyessä 5 °C:n pumpppu P1 pysähtyy. Päivisin lämpötilaerotesti vakiovirtaamalla suoritetaan kerran tunnissa, tunnin alussa.

Kesää lähestyttäessä auringon säteilyteho kasvaa ja tehon siirtäminen vesivaraajaan tulee ajankohtaiseksi. Siirron toteutusajankohta pitää testata varaajan latauspiirin lämpötilaerotestillä. Edellä kuvattu testi vakiovirtaamalla 10 minuutin ajaksi käynnistyy tunnin alussa. Kun lämpötila TE1:n kohdalla kohoaa 50 °C:seen vaihtoventtiiliin TV1 A- haara avautuu (B- haara sulkeutuu), lämpöpumpppu pysähtyy ja latausneste alkaa kiertää alemman latauskierukan kautta. Varaajasta kerääjälle tulevan nesteen lämpötila on 30 °C (TE3). Sen lämpötila nousee kerääjässä, ja TC1 alkaa ohjata P1:n pyörimisnopeutta antureiden TE1 ja TE3 mittaustuloksen perusteella siten, että lämpötilaero pysyy vakiona 10 °C. Vaihtoventtiiliin TV4 A-haara on suljettu.

Kun kerääjän yläosasta varaajaan menevän nesteen lämpötila on kohonnut lämpötila-anturin TE4 kohdalla 75 °C:seen aukaisee TC1 vaihtoventtiiliin TV4 A-haaran ja sulkee B-haaran. Tällöin latausneste kiertää molempien latauskierukoiden kautta. Säätokeus TC1 ohjaa P1:n pyörimisnopeutta antureiden TE1 ja TE3 mittaustuloksen perusteella siten, että lämpötilaero pysyy vakiona 10 °C. Toimintakäsky on voimassa niin kauan, kunnes TE1:n lämpötila on kohonnut 75 °C:seen tai TE1:n lämpötila on laskenut säteilytehon vähenemisen takia niin, että lämpötilaero TE1:n ja TE3:n välillä saavuttaa arvon 5 °C. Säätojärjestelmä siirtyy tämän jälkeen takaisin maalatauspiirin lämpötilaeron testaus tilaan. Vaihtoventtiilien TV1 ja TV4 A-haara sulkeutuu ja B-haara avautuu, ja auringon säteilylämpöä ohjataan lämpöakkuun siten, että TE1:n ja TE2:n lämpötilaero pysyy 10 °C:na. TE1:n lämpötila ei voi missään olosuhteissa ylittää 78 °C.

Kesäpäivän kääntyessä iltaan ja auringon säteilytehon hiipuesssa esiin tulee vielä eräs maalämpö/tasokeräinhybridin hyvä ominaisuus: keräimen rakenteisiin sitoutuneen lämmön hyödyntäminen. Keräintä jäähdytetään tällöin maassa kiertävällä latausnesteellä, kunnes TE1:n ja TE2:n välinen lämpötilaero on pientynyt 5 °C:seen tai kun TE1:n lämpötila on laskenut 10 °C:seen.

Lämpöakun käytöllä on eräs hyvä ja tärkeä ominaisuus, kun hyödynnetään suuria keräinpinta-aloja. Kesällä, kun aurinko porottaa pilvettömältä taivaalta ja esiintyy pitkiäkin hellejaksoja, keräinten ylikuumenemisen vaara on suuri. Lämmönkeruu/latausneste alkaa helposti kiehua kerääjien yläosassa, jolloin se menettää fysikaalisia ominaisuuksiaan. Tällaisissa ylienergiatilanteissa keräimiä jäähdytetään lämpöakussa kiertävällä latausnesteellä anturin TE1 ja pumpun P1 avulla niin, että latausnesteen lämpötila keräinten yläosassa ei nouse yli 78 °C:n. Pumpun P1 käynti on lisäksi varmistettava sähkökatkosten aikana.

5.6.4 Maalämpöpumpun, aurinkokerääjien ja lämpöakun tuotto

Taulukosta 14 selviää, että kerääjistä saatavalla lämpöenergialla pystytään kattamaan talo IIIikaisen toukokuun, kesäkuun, heinäkuun ja elokuun lämmöntarve.

TAULUKKO 14. Aurinkokerääjistä saatavan energian vaikutus talo IIIikaisen energiataseeseen

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.[kWh]
Qtila	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö	659	704	977	1108	1234	1105	914	961	982	757	653	650	10704
Qläm,tilat,netto	2594	2305	2173	1230	514	206	68	132	625	1344	1969	2368	15528
ηlämmitys, tilat	0,8												
Qlämmitys, tilat	3243	2882	2716	1538	642	258	85	165	781	1680	2461	2960	19410
Qlämmitys, lkv	720	660	720	700	720	700	720	720	700	720	700	720	8499
Qlämmitys, iv	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Yhteensä	4323	3882	3756	2344	1362	958	805	885	1483	2459	3382	3988	29627
Energia kerääjistä	13	168	677	1581	2560	2991	2751	1739	761	206	22	1	13471
Erotus	4311	3714	3079	763	-1198	-2033	-1947	-854	722	2253	3360	3987	16156

Aurinkokerääjistä saadun ilmaisenergian jälkeen rakennuksen lämmöntarpeeksi jää 16 156 kWh. Jos tuo lämpömäärä otettaisiin lämpöakusta siten, että ei tarvitsisi mennä jäädytyksen puolelle, kun lämpöakkua ryhdytään syyskuun puolivälissä purkamaan, akun alkulämpötilan täytyisi olla noin 40 °C. Taulukosta 4 saadaan tuotoksi 15 893 kWh. Jos akun alkulämpötila saataisiin 30 °C:seen, käytävissä olisi 11 920 kWh. Tämä riittäisi noin tammikuun kahdennenkymmenennen päivän tienoille. Loppu energiamäärä olisi otettava jäädyttämällä lihavaan saveen sitoutunutta vettä 0 °C:ssa.

On huomioitava, että kerääjistä saatava energiamäärä on laskettu auringonpaistetuntien perusteella, eli kun aurinko paistaa esteettömästi keräajiin. Suurimman osan ajasta keväällä, kesällä ja syksyllä aurinko on enemmän tai vähemmän paksujen pilvien takana. Keräajiin tulee tällöinkin hajaseiteilyä ja heikkoja auringonsäteitä pilvien läpi ja latausnesteen lämpötila voi nousta 30...40

°C:seen. Näitä lämpötiloja voidaan jo hyödyntää lämpöakun lataamiseen. Energiämääriä on vaikea arvioida muuten kuin rakentamalla koelaitos ja testaamalla ja mittaamalla niitä parin kolmen vuoden ajan.

Taulukkoon 15 on laskettu kaikkien tähän järjestelmään kuuluvien kiertovesipumppujen käyntiajat ja energiankulutus.

TAULUKKO 15. Pumppujen käyntiajat ja energiankulutus kuukaudessa ja vuodessa

	h/kk	P1	P2	P3	P4	P5	LP	APT
tammi	744	0	320	320	744	744	320	24
helmi	672	0	272	272	672	672	272	69
maalis	744	100	223	223	744	744	223	137
huhti	720	200	53	53	720	720	53	208
touko	744	273	0	0	31	744	0	273
kesä	720	300	0	0	30	720	0	296
heinä	744	300	0	0	31	744	0	283
elo	744	212	0	0	31	744	0	212
syys	720	100	59	59	720	720	59	133
loka	744	60	177	177	744	744	177	69
marras	720	0	254	254	720	720	254	28
joulu	744	0	297	297	744	744	297	8
	8760	1545	1655	1655	5931	8760	1655	1740
Teho [W]		110	40	140	40	7	4900	
Energia [kWh]		170	66	232	237	61	8110	
LP	Lämpöpumppu. Teoreettinen kulutus ottotehon ja käyntituntien perusteella 8110 kWh.							
APT	Auringonpaistetunnit Oulunsalo, Oulun lentoasema.							

Taulukkoon 16 on laskettu maalämpöpumppua, aurinkokerääjiä, energiavaraajaa sekä lämpöakua hyödyntävän vaihtoehtoisen lämmöntuottohybridin ostoenergia ja E-luku. Tällä hybridillä päästään jo huomattavasti alle vertailu E-luvun. Verrattuna muihin järjestelmiin (taulukko 13) tämä hybridi-lämmöntuottojärjestelmä on selvästi energiatehokkain.

TAULUKKO 16. Maalämpöpumppu/aurinkokerääjä-hybridin ostoenergia ja E-luku

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	yht.[kWh]
Qtila	3253	3010	3150	2338	1748	1311	982	1093	1607	2100	2622	3019	26232
Qsis.lämpö	659	704	977	1108	1234	1105	914	961	982	757	653	650	10704
Qläm,tilat,netto	2594	2305	2173	1230	514	206	68	132	625	1344	1969	2368	15528
ηlämmitys, tilat	0,8												
Qlämmitys, tilat	3243	2882	2716	1538	642	258	85	165	781	1680	2461	2960	19410
Qlämmitys, lkv	720	660	720	700	720	700	720	720	700	720	700	720	8499
Yhteensä	3963	3542	3436	2238	1362	958	805	885	1481	2399	3161	3680	27909
Energia kerääjistä	13	168	677	1581	2560	2991	2751	1739	761	206	22	1	13471
Erotus	3950	3374	2759	656	-1198	-2033	-1947	-854	720	2193	3139	3679	14438
Qlämmitys, iv	361	340	320	106	0	0	0	0	3	60	221	308	1718
Qlämmitys =	Qlämmitys, tilat + Qlämmitys, iv + Qlämmitys, lkv - Qaurinko, lkv - Qmuu tuotto												
													ηtuotto
Qlämmitys, lämpöpumpulla:													
Qlämmitys, tilat				19410									
Qlämmitys, lkv				8499									
Qaurinko, lkv				13471									
Qlämpöpumppu				10828	14438 - (14438/4) = 10828								
				3610									
ηtuotto, lämpöpumppu				1,00									
Lämpöpumppu, ostoenergia (sähkö)				3610	kWh	Ostoenergia 1							
Wlämmitys = Wtilat + Wtuotto, apu + Wlkv, pumppu + Waurinko, pumpu + WLP, lämmitys													
Wtilat				237	Pumppu P4								
				131	Säätölaitteet								
Wtuotto, apu				66	Pumppu P2								
				232	Pumppu P3								
Wlkv, pumppu				61	Pumppu P5								
Waurinko, pumpu				170	Pumppu P1								
				175	Säätölaitteet								
Wlämmitys, ostoenergia				1072	kWh								
Wilmanvaihto				1751	Puhaltimet								
				0	Tuloilman lämmityksen energia otetaan energiavaraajasta								
Wkuluttajalaitteet				3130	Sisältää kellaripumppaamon pumpun sähköenergian								
Wvalaistus				1388									
Sähkö, ostoenergia yhteensä				7341	kWh	Ostoenergia 2							
Eosto = (3610+7341)/198 =				55,31	kWh/(m²a)								
E =	1,7	3610	198	30,99									
	1,7	7341	198	63,03									
				94,02	kWh/m²	<< 159,14 kWh/m²							

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää apuvälineitä ja valintamalleja pientalojen erilaisille energialähde- ja lämmöntuottojärjestelmäratkaisuille. Ne ovat laskelmia ja toimintakaavioita, joiden perusteella pientalon rakentaja voi alustavasti vertailla ja pohtia hänen rakennukseensa ja rahavaroihinsa sopivia mielekkäitä ratkaisuja.

Lämmöntuottojärjestelmillä kalliolämpö/aurinkokerääjähybri ja pellettilämmitys sekä maalämpöpumppu/aurinkokerääjähybridi päästiin vertailu E-luvun alapuolelle. Paras energiatehokkuus saavutettiin maalämpöpumppu/aurinkokerääjähybridillä. Yllättävin tulos tässä työssä on, että rakennuksen E-luvun vertailuarvon alapuolelle päästään pellettilämmityksellä mutta ei muilla ratkaisuilla, joissa energiaa hankitaan ainoastaan yhdellä, yksinkertaisella lämmöntuottomuodolla, kuten kaukolämpö tai osateholämpöpumppu. Ostosähkön määrällä ja sähkön energiamuodon kertomella on näissäkin tapauksissa huomattava negatiivinen vaikutus E-lukuun. Ainoastaan silloin, kun mukaan huomioidaan sopiva määrä uusiutuvaa omavaraisenergiaa, päästään riittävän pieniin E-lukuihin. Parhaimpaan eli pienimpään E-lukuun päästään maalämpöpumppu/aurinkokerääjähybridillä, jossa uusiutuvan omavaraisenergian määrä on huomattava ja energian varastointi on välttämätöntä. Hybridissä erityistä huomiota kiinnitetään keräinpinta-alan laajuuteen ja aurinkolämmön varastointiin maahan. Lihavasta savesta tehtyyn maalämpöakkuun viedään kaikki keräinten ylimääräinen lämpöenergia kesäaikaan. Samalla saadaan hallintaan keräinpiirin kiehumisongelmat. Keräinpinta-alan suuruudella ja yllämmön varastoinnilla on ratkaiseva merkitys hyödynnettävän energian määrään. Uusiutuvan omavaraisenergian määrää lisäämällä on Suomen olosuhteissa mahdollista lähestyä 0-energia- tai jopa +energiarakennusta.

Hybridilämmöntuottojärjestelmästä tulee helposti hieno ja monimutkainen. Tällöin sen toiminta ja pääperiaate, että hankitaan kohtuuhintaista energiaa, vaikeutuu. Rakentamalla systeemi, jossa on ainoastaan yksi päälämmöntuottojärjestelmä ja yksi lisälämmöntuottojärjestelmä, joka tuottaa uusiutuvaa omavaraisenergiaa, päästään hyvään lopputulokseen. Mielenkiinto edellä esitettyihin ratkaisuihin, niiden tutkimiseen ja niihin liittyvän teknologian kehittämiseen tulee varmasti tulevaisuudessa lisääntymään.

LÄHDELUETTELO

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 35 s.
- 2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Luonnos 14.3.2012. 76 s.
- 3 Solar Simulator Finland Ltd. 24.11.2008-31.01.2009. Tutkimusraportti Ref.No.: TM_NN102009_public_tr.pdf. 8 s.
- 4 Heimonen, Ismo. Aurinkolämmön ja aurinkosähkön energiantuoton laskennan opas. Aurinko-opas 2012. 23.8.2011.
- 5 Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010. Ilmatieteen laitos. Helsinki 2012.
- 6 Leivo, Virpi – Rantala, Jukka 2002. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK, Talonrakennustekniikka 2002. Julkaisu 120. Tampere 2002.
- 7 Ronkainen, Nanna. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristö 2/2012. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2012.
- 8 Alanen, Raili – Koljonen, Tiina – Hukari, Sirpa – Saari, Pekka 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT tiedotteita 2199. Espoo 2003.

LIITTEET

LIITE 1 Rakennuksen tiedot

LIITE 2 Lattialämmityspiirin kytkentäkaavio

LIITE 3 Hybridilämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio

LIITE 4 Tuloilmapatterin kytkentäkaavio

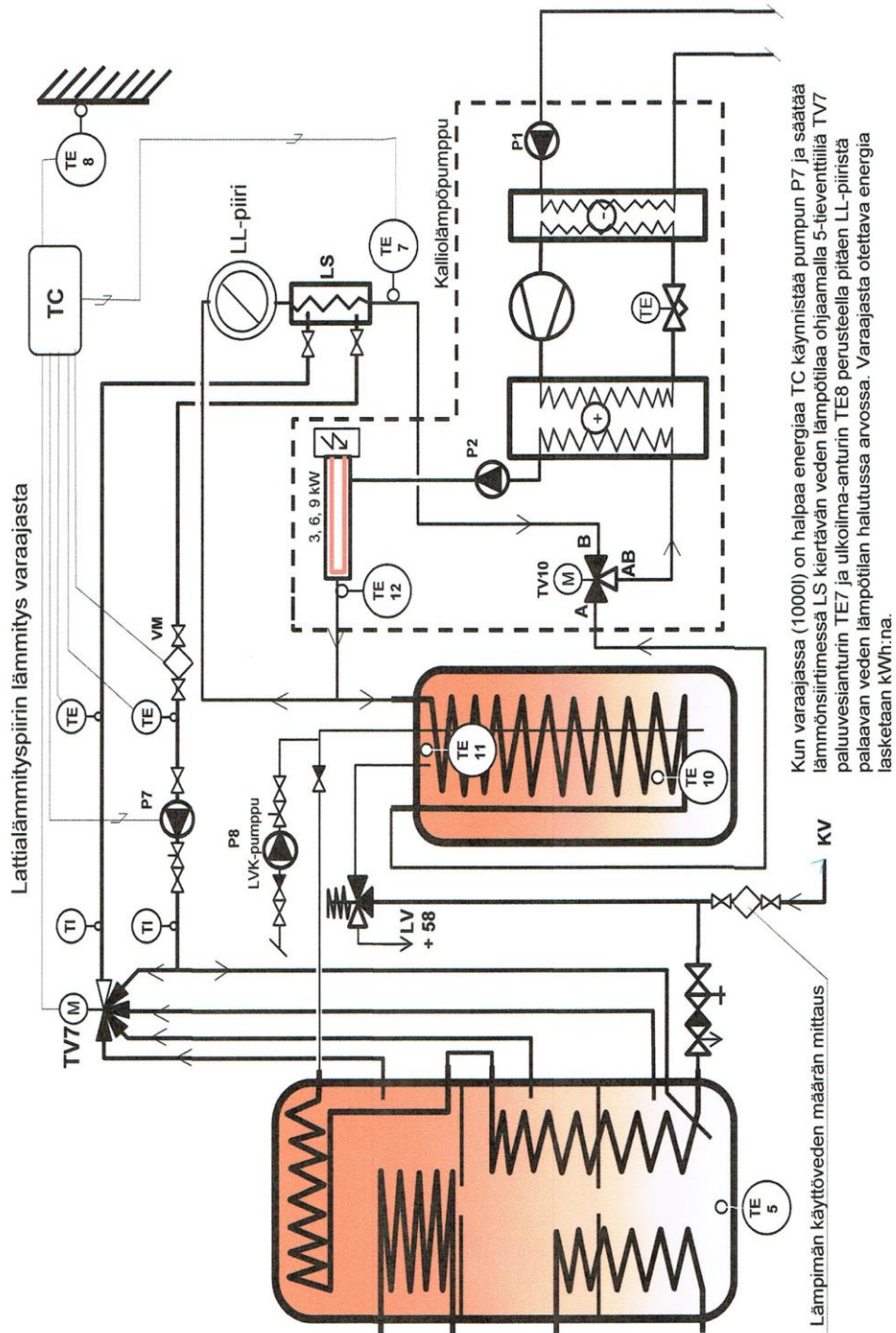
LIITE 5 Maapiirin kytkentäkaavio

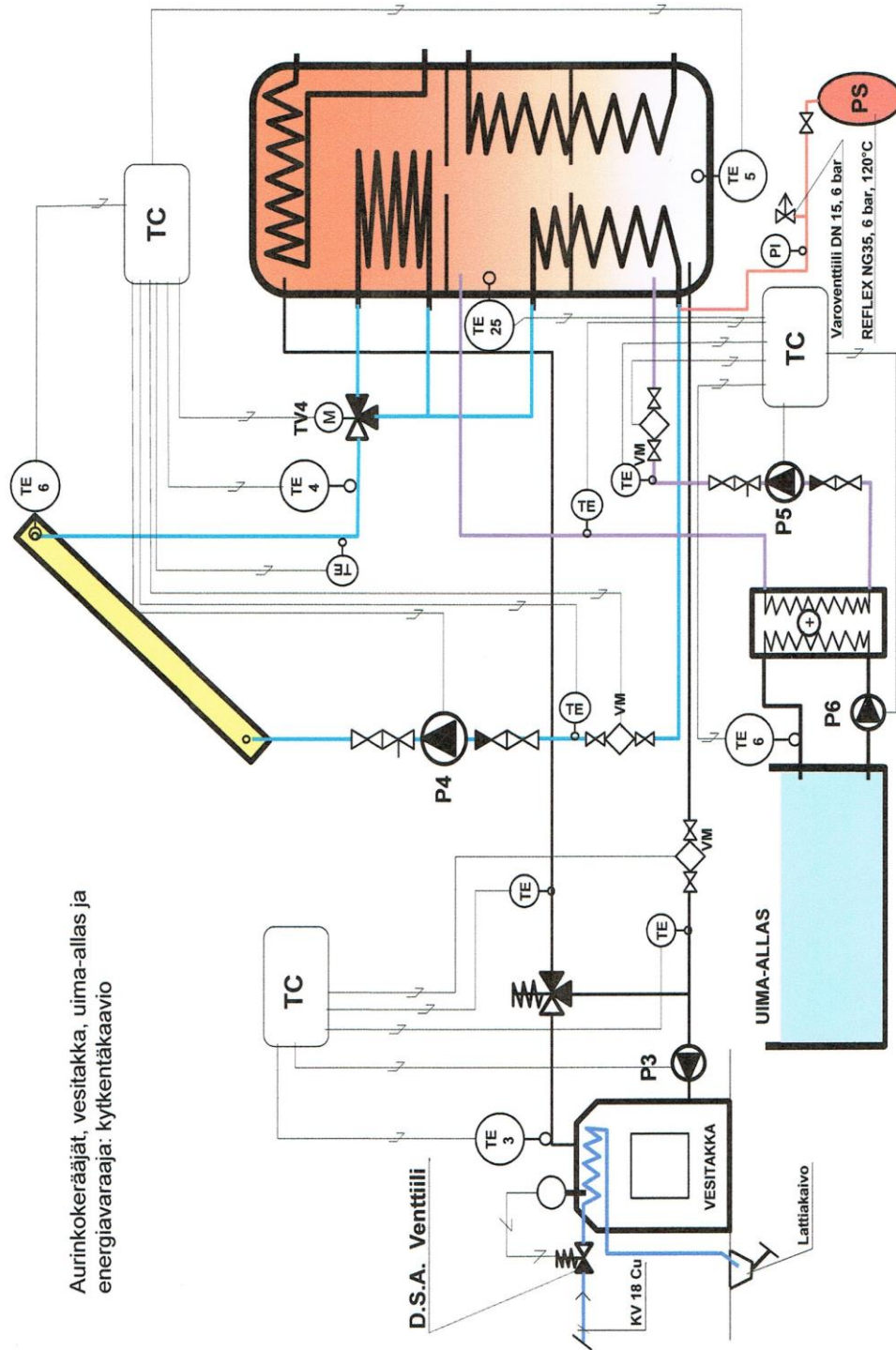
LIITE 6 Maalämpöpumppu/aurinkokeräinhybridin kytkentäkaavio

LIITE 7 Käyttövesipiirin kytkentäkaavio

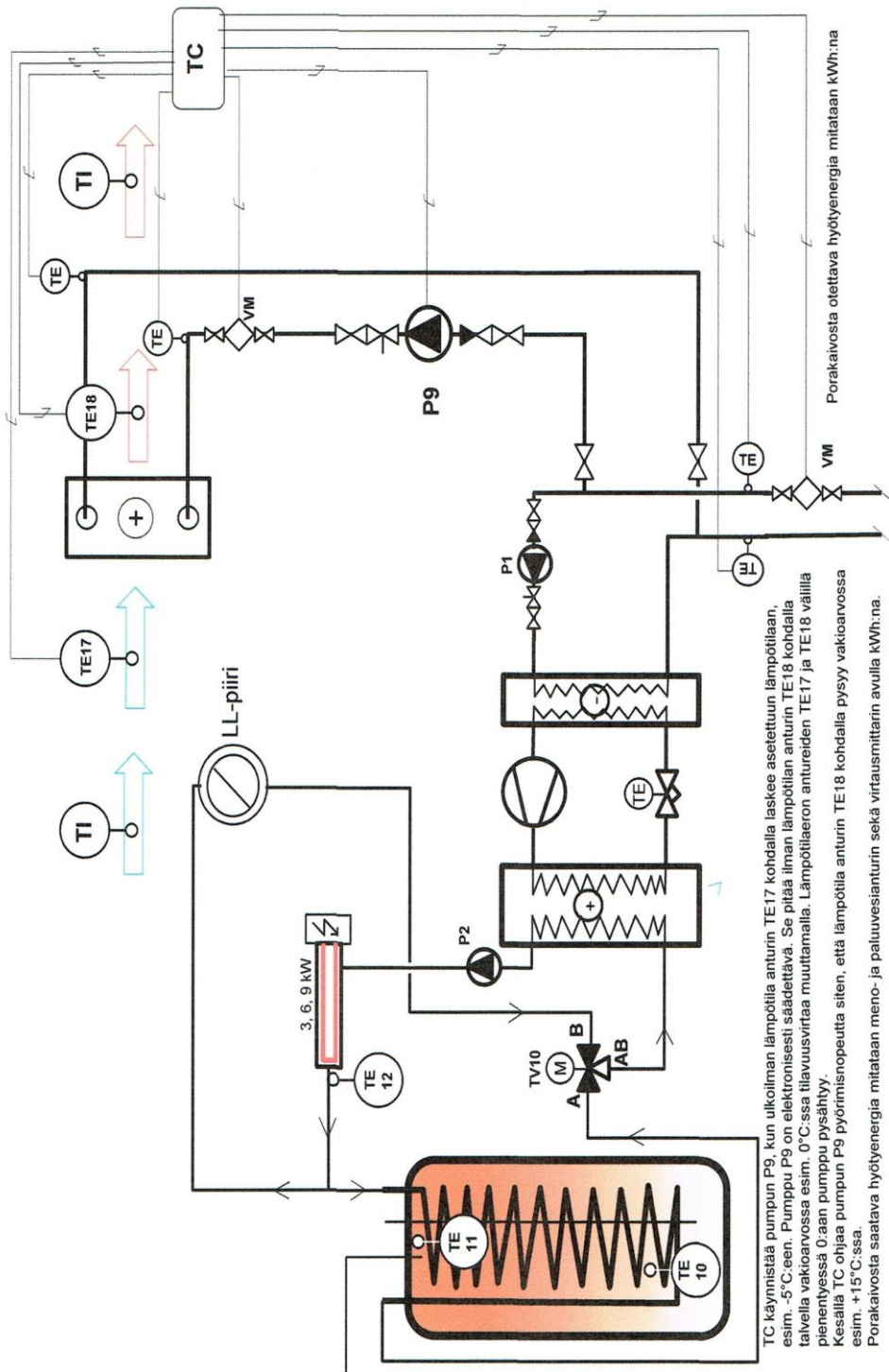
LIITE 8 Lämpöpumpun tilapiirros

ENERGIATODISTUKSEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT						
Rakennuksen laajuustiedot						
Bruttoala	334	brm ²				
Rakennustilavuus	1100	rak-m ³	Ilmatilavuus	820	m ³	
Huoneistoala	198	hum ²	Henkilömäärä	5		
Rakenteet						
Rakennusosat			Pinta- ala (m ²)	U-arvo (W/m ² K)		
Ulkoseinät	Ulkoseinä		208.60	0.12		
	Maanvastainen seinä		80.00	0.12		
Yläpohjat	Yläpohja		237.70	0.09		
Alapohja	Alapohja 1.kerros		109.70	0.15		
	Alapohja kellari kerros		85.20	0.16		
Ovet						
Ikkunat	Ikkuna koillinen		10.70	1.00	g _{kohtisuora} 0.56	F _{kehä} 0.75
	Ikkuna kaakko		25.60	0.82	0.56	0.75
	ikkuna lounas		2.70	0.91	0.56	0.75
	Ikkuna luode		20.30	0.84	0.56	0.75
	Ulko-ovi		10.50	0.80	0.56	0.75
Tehollinen lämpökapasiteetti C _{Rak omin.}			200 Wh/(brm ² K)			
Ilmanvaihto						
Rakennuksen ilmanvuotoluku n50					1.0	1/h
Ilmanvaihdon poistovirta					0.114	m ³ /s
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosiyhötysuhde					75	%
Vedenkulutus						
Lämpimän käyttöveden kulutus					73.00	m ³ /vuosi
Huoneistokohtainen vedenmittaus ja laskutus					Kyllä <input checked="" type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>
Lämmitysjärjestelmät						
Lämmönkehitys	Maalämpöpumppu	Sisältää käyttöveden lämmityksen	Kyllä <input checked="" type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>		
Lämmönjakotapa	Vesikiertoinen lattialämmitys, 40/35 °C					
Lämmönvaraajat						
Lämpimän käyttöveden kiertojohdo					Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input checked="" type="checkbox"/>
- Kiertojohdtoon on liitetty märkätilojen lämmityslaitteita					Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input checked="" type="checkbox"/>
Energiatohokkuusluvun laskenta						
Lämmitysenergian kulutus			25655	kWh/vuosi		
Laitesähköenergian kulutus			4669	kWh/vuosi		
Jaähdytysenergian kulutus			0	kWh/vuosi		
Rakennuksen energiankulutus yhteensä			30324	kWh/vuosi		
Rakennuksen energiatohokkuusluku			91	kWh/brm ² /vuosi		



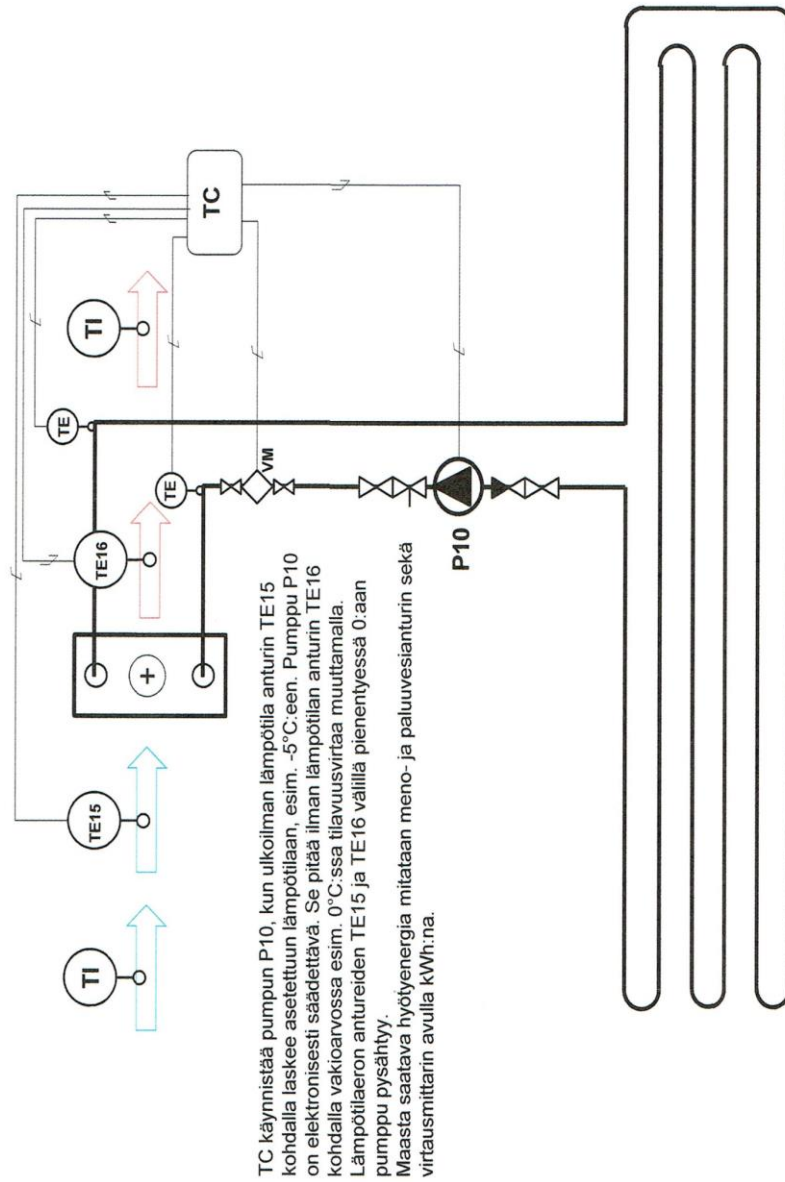


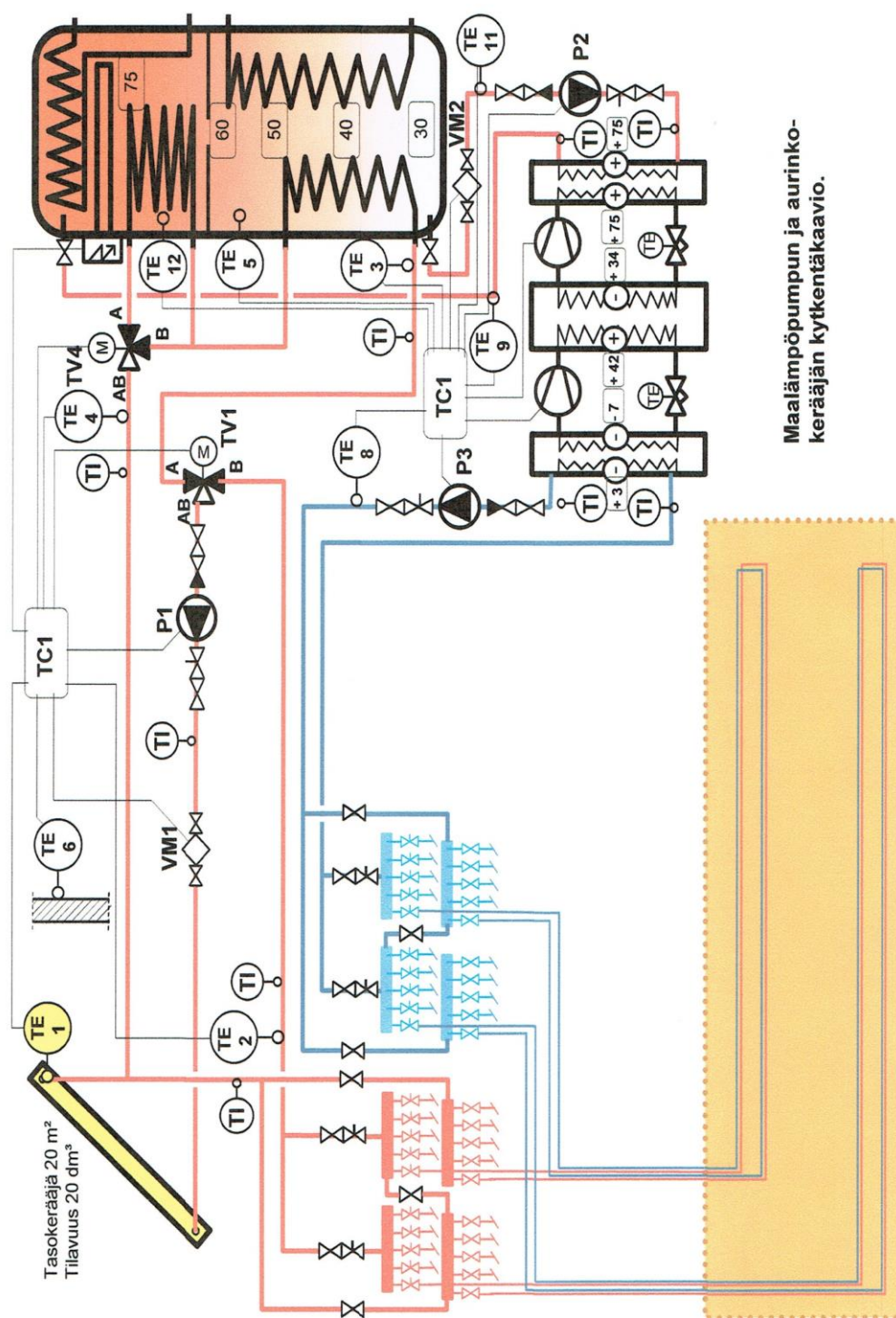
Ison IV-koneen ulkoilman esilämmitys talvella ja jäähdytys kesällä porakaivosta.



Porakaivosta otettava hyötysenergia mitataan kWh:na

Pienen IV-koneen ulkoilman esilämmitys omaista maapiiristä





Maalämpöpumpun ja aurinko-
keräimen kytkentäkaavio.

